

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DA FERTILIDADE DE UM LATOSSOLO SOB PLANTIO DIRETO INFLUENCIADOS PELO RELEVO E PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM

Rudinei Luis Richter¹; Telmo Jorge Carneiro Amado²; Ademir de Oliveira Ferreira³; Paulo José Alba⁴, Fernando Dubou Hansel⁵

¹Eng^o. Agr^o. Universidade de Passo Fundo. E-mail: rudineirichter@yahoo.com.br

²Professor Associado do Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria, Bolsista do CNPq. E-mail: tamado@smail.ufsm.br

³Eng^o. Agr^o. M.Sc. em Agronomia, Doutorando em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Bolsista do CNPq. E-mail: aoferreira1@yahoo.com.br.

⁴Eng^o. Agr^o. Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria. E-mail: kidgotera@msn.com

⁵Eng^o. Agr^o. Mestrando em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria. E-mail: fernadodhansel@yahoo.com.br

Data de recebimento: 07/10/2011 - Data de aprovação: 14/11/2011

RESUMO

O solo apresenta heterogeneidade, tanto vertical como horizontalmente, imposta pela natureza dos fatores responsáveis pela sua formação. O objetivo deste trabalho foi investigar a influência da profundidade de amostragem e do relevo na variabilidade dos atributos da fertilidade de um Latossolo sob plantio direto no Rio Grande do Sul. Para tanto, efetuou-se a amostragem do solo, nas camadas de 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m de profundidade, em malha regular de 1 ha, com trado de rosca. As amostragens foram coletadas com base no ponto central de uma malha amostral, sendo a amostra composta a partir de nove sub-amostras. O registro da altimetria foi realizado através do receptor DGPS modelo Topper S3, com agrupamento em três posições: baixada (510 m), encosta (520 m) e encosta superior (530 m). A área de estudo abrangeu 25 ha, em uma lavoura comercial no Planalto do RS, em um Latossolo Vermelho Distrófico típico. Observou-se incremento na concentração superficial (0,0-0,10 m) dos atributos químicos: potássio, fósforo, MOS, magnésio, zinco e saturação por bases. Por outro lado, observou-se tendência inversa para os seguintes atributos: alumínio, manganês, enxofre e boro, com incremento na camada 0,10-0,20 m. Na camada de solo subsuperficial (0,10-0,20 m) observou-se em geral maior variabilidade espacial dos atributos químicos em relação à camada superficial (0,0-0,10 m), com exceção dos atributos: alumínio, argila, saturação por alumínio e zinco. A variabilidade espacial dos teores de alumínio, cobre, enxofre, magnésio foram incrementadas pelo aumento da altitude e tendência inversa para os atributos: argila, MO e zinco.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura de precisão, fósforo, potássio.

SPATIAL VARIABILITY OF FERTILITY ATTRIBUTES OF AN OXISOL AFFECTED BY LANDSCAPE AND DEPTH SAMPLING

ABSTRACT

The soil presents heterogeneity, both vertically and horizontally, imposed by the natural factors responsible for the soils formation. The aim of this research was to

investigate the influence of the sampling depth and the landscape in the variability of the factors of fertility of an Oxisol in no-till in Rio Grande do Sul. For that, the soil sampling was performed on the layers of 0 to 0,10 m and 0,10 to 0,20 m of depth, in regular grid of 1 ha, with screw auger. The sampling was made based on the central point of the grid cell, being the sample a composition of nine subsamples. The altimetric register was made through the DGPS receptor model Topper S3, with groups of three positions: lowland (510 m), slope (520 m) and the upper slopes (530 m). The study area had 25 ha, in a commercial crop field in the plateau of RS, in an Oxisol. It was observed the increment in superficial concentration (0,0 to 0,10 m) of the chemical attributes: potassium, phosphorus, MOS, magnesium, zinc and base saturation. On the other hand, the inverse tendency was observed for the attributes: aluminum, manganese, sulfur and boron, with increase in the layer 0,10 to 0,20 m. In the subsurface layer (0,10 to 0,20m) was observed that in general there is spatial variability of chemical attributes in relation to the superficial layer (0,0 to 0,10), with the exception of: aluminum, clay, aluminum saturation and zinc. The spatial variability of the levels of aluminum, copper, sulfur and magnesium were improved by increasing altitude and the inverse trend for attributes: clay, organic matter and zinc.

KEYWORDS: Precision Agriculture, phosphorus, potassium.

INTRODUÇÃO

O solo apresenta heterogeneidade, tanto vertical como horizontalmente, imposta pela natureza dos fatores responsáveis pela sua formação. Este fato ocorre porque o próprio material de origem não é uniforme em toda a sua extensão, ou seja, o processo de intemperização não ocorre de forma homogênea e contínua. Segundo os princípios básicos da experimentação, a variabilidade do solo ocorre de forma aleatória. No entanto, várias pesquisas mostram que a variabilidade dos atributos químicos do solo apresenta correlação ou dependência espacial (CARVALHO et al., 2002; MACHADO et al., 2007).

As formas do relevo podem contribuir para entender os processos que atuam na paisagem (SOUZA et al., 2004). A associação das formas da paisagem (pedoforma) à variabilidade espacial dos atributos dos solos tem contribuído na identificação e mapeamento de áreas mais homogêneas, com limites mais precisos entre elas (SOUZA et al., 2003), o que permite que técnicas agronômicas possam ser transferidas com facilidade e economia para ambientes semelhantes. Segundo SANCHEZ et al. (2009) o estudo das formas de relevo é fundamental para o entendimento da variabilidade dos principais atributos dos solos.

A variabilidade espacial dos atributos químicos do solo aumenta com a adoção do sistema plantio direto (SPD), quer no sentido horizontal, pela distribuição irregular na superfície do solo (KLEPKER & ANGHINONI, 1995; COUTO, 1997), quer ainda no sentido vertical, pelas diferenças nos teores de uma camada mais superficial em relação à outra mais profunda (ELTZ et al., 1989; AMARAL & ANGHINONI, 2001), demandando a definição de novos procedimentos de amostragem para contemplar essas alterações.

De acordo com WERNER (2004) as acentuadas variações nos teores de nutrientes no solo freqüentemente encontrados numa gleba decorrem do cultivo intensivo e do uso indiscriminado de fertilizantes. O pH do solo, via de regra, tem sido o atributo de menor variabilidade (SOUZA et al., 2004; PONTELLI, 2006; SILVA et al., 2007) e o P e K os de variabilidade mais elevada (PONTELLI, 2006; MACHADO et al., 2007).

Entre os avanços tecnológicos da agricultura nas últimas décadas, destaca-se a agricultura de precisão que demanda a coleta e processamento de uma grande

quantidade de informações que possibilitam a investigação da variabilidade espacial dos principais fatores de produção (MOLIN, 1997; MOLIN 2010; NOGARA NETO et al. 2011). Os atributos da fertilidade do solo são investigados através da coleta de amostras georeferenciadas e a altimetria pode ser investigada através do sensoriamento remoto e sinal de DGPS ou GPS-RTK utilizado em equipamentos como pulverizadores e colhedoras.

A profundidade de amostragem do solo pode influenciar na variabilidade dos nutrientes, resultando em uma dificuldade adicional a prescrição de fertilização. SILVEIRA et al. (2000) identificaram aumento do coeficiente de variação do teor de cálcio, magnésio, fósforo, potássio e saturação por base, em SPD, na camada amostral de 0,05 a 0,20 m de profundidade em relação à camada de 0 a 0,05 m de profundidade. FALCÃO & ESCOSTEGUY (2010) em Latossolo Vermelho aluminoférrico sob SPD de longa duração, encontraram diferença estatística nos teores de fósforo, potássio e matéria orgânica, entre as camadas de solo havendo decréscimo nos teores com o incremento na profundidade de amostragem. Os mesmos autores observaram influência significativa do relevo na variabilidade dos teores de fósforo e matéria orgânica, obtendo uma correlação positiva entre os atributos do solo e a altimetria da área, ou seja, maiores teores de fósforo e matéria orgânica sendo observados nas altitudes mais elevadas.

SOUSA (2010), avaliando a influência da forma do relevo na variabilidade espacial dos atributos do solo e das plantas, observou aumento do coeficiente de variação, de 33% para 53% para o fósforo, e de 21% para 29% para a saturação por base, respectivamente da pedofoma linear, para a pedofoma côncava-convexa.

A amostragem de solo intensiva (malha amostral) visando à prescrição de taxa variada de fertilizantes representa um desafio na agricultura de precisão, pois ela deve expressar a variabilidade espacial existente na área. O tema é complexo, pois tanto o relevo como a profundidade de amostragem têm influência na variabilidade horizontal e vertical dos atributos da fertilidade. Com o objetivo de investigar a influência da profundidade de amostragem e do relevo na variabilidade dos atributos da fertilidade de um Latossolo sob SPD no Rio Grande do Sul foi conduzido este trabalho.

METODOLOGIA

O trabalho foi realizado em uma propriedade agrícola situada no município de Chapada, Rio Grande do Sul, Brasil, localizado à 28°10'51" de latitude sul e 53°04'42" de longitude oeste. O solo é de textura argilosa, classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico, pertencente à Unidade de Mapeamento Passo Fundo (EMBRAPA, 2006). O clima é subtropical úmido segundo a classificação de Koeppen com precipitação média anual de 2.183 mm e temperatura média anual de 20 °C (COAGRIL, 2010). A topografia do terreno é ondulada caracterizada por declives longos, sendo cultivada com SPD de longa duração.

O delineamento experimental adotado foi arranjo fatorial 3 x 2. Onde os fatores foram: Relevo: baixada (510 m), encosta (520 m) e encosta superior (530 m); e profundidade de amostragem: 0-10 e 10-20 cm. As amostragens de solo foram efetuadas em maio de 2009, transcorridos 2,5 meses após a colheita da cultura do milho. Os limites da lavoura foram delimitados através das coordenadas UTM (DATUM-WGS 84) obtidas através do caminhamento periférico da área com um receptor de sinal de GPS modelo Garmin Vista HCX. Para a realização das amostragens a área foi dividida em grades hexagonais com raio de 63,57 m com área

de 1 (um) hectare, totalizando 25 células, sendo as mesmas geradas pelo Software CR – Campeiro versão 7 (FIG. 1).

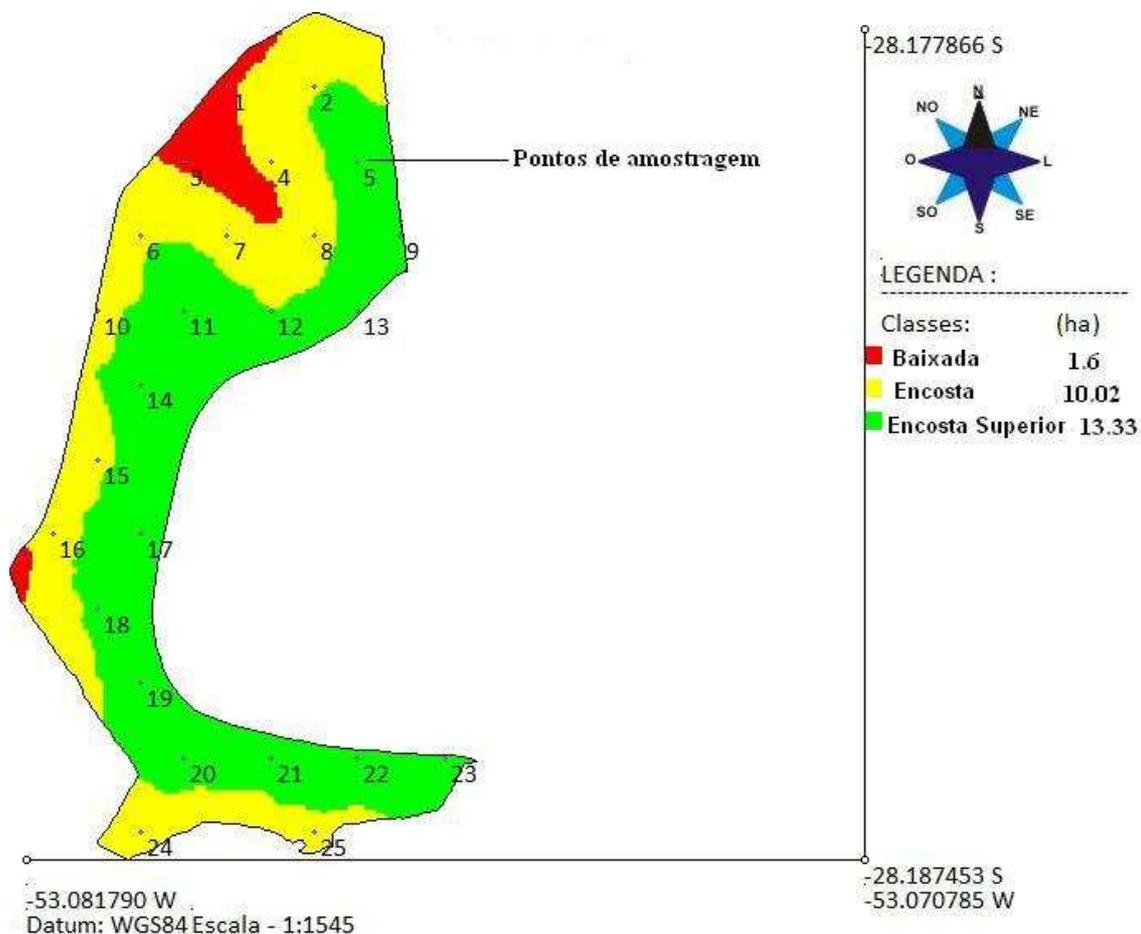


FIGURA 1. Mapa da área de amostragem de solo e altitude do relevo, situado no município de Chapada estado do Rio Grande do Sul em um Latossolo.

A campo procedeu-se a coleta de nove subamostras para compor uma amostra composta, conforme metodologia proposta por FIORIN & AMADO (2010), modificada para distâncias de 10 metros do ponto central, sendo as mesmas efetuadas em duas profundidades distintas: 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m.

Nas amostras de solo foram analisados os seguintes parâmetros: argila, pH H₂O, pH SMP, fósforo (P) potássio (K), matéria orgânica (MO), alumínio (Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H+AL), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%), enxofre (S), zinco (Zn), cobre (Cu); boro (B) e manganês (Mn).

A altimetria do terreno foi obtida durante a operação do equipamento de distribuição de fertilizantes equipado com o receptor DGPS modelo Topper S3, registrando 2.951 pontos de altitude espaçados de 24 m x 4,5 m. Sobrepondo o mapa de altimetria com o mapa de coleta de solo através do Campeiro (versão 7) foi possível obter a seguinte distribuição: seis pontos amostrais de solo na altitude de 510 m, 10 pontos amostrais de solo na altitude de 520 m e 9 pontos amostrais na altitude de 530 m. As zonas de altitude foram classificadas como segue (Figura 1):

- Baixada: Altitude de 505 a 515 m
- Encosta: Altitude de 515,1 a 525 m

- Encosta Superior: Altitude de 525,1 a 535 m

A variabilidade dos atributos foi classificada, segundo proposto por WARRICK & NIELSEN (1980), em baixa ($CV < 12\%$), média ($12 \leq CV \leq 24\%$) e alta ($CV > 24\%$). As médias dos nutrientes foram calculadas para cada situação de topografia e profundidade de amostragem do solo.

Os resultados foram submetidos à análise pelo programa SISVAR 5.0 (FERREIRA 2010), utilizando o teste de Tukey a 5 %. Para obtenção das curvas de resposta, foi utilizado o procedimento da análise de regressão pelo programa JMP IN versão 3.2.1 (SALL et al., 2005), utilizando o teste F a 1 % de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atributos da fertilidade do solo afetados pela profundidade de amostragem

Os atributos da fertilidade do solo (Al, Ca, Cu, S, P, Mg, Mn, M.O, pH H₂O, K, V% e Zn) e a argila apresentaram interação significativa com o relevo e com a profundidade de amostragem (Tabela 1). A influência do relevo e da profundidade de amostragem nos atributos da fertilidade já havia sido anteriormente reportada (SILVEIRA et al. 2000; SOUSA, 2010).

Os teores médios, bem como os valores de coeficientes de variação dos atributos da fertilidade química do solo, obtidos nas amostragens das camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade são apresentados na Tabela 2. Quanto a estratificação vertical dos nutrientes, observou-se que os teores médios de potássio, zinco, fósforo, matéria orgânica, manganês, cálcio e cobre na camada mais superficial (0-0,05m) apresentaram incrementos de 72,2; 68,5; 52,8; 35,4; 20,4; 15,4 e 7,7 % em relação a camada de 0,10-0,20 m. Os resultados do potássio, zinco e fósforo foram semelhantes à obtida anteriormente por outros trabalhos (SCHLINDWEIN & ANGHINONI, 2000; ANGHINONI & SALET, 1998; CARVALHO et al. 2002).

Quanto a estratificação do cálcio, a maior concentração (15,4 %) na camada superficial em relação a camada subsuperficial está associada a aplicação superficial de calcário. O cálcio é importante na estabilização da MOS e de agregados (SIX et al., 2004; BRONICK & LAL, 2005; BRIEDIS 2010). Dados estes ratificados por FERREIRA (2009), que em Latossolo sob SPD de longa duração na região dos Campos Gerais (PR), encontrou teores de Ca na camada 0-0,05 m de 137% superior ao da camada de 0,05–0,20 m. Segundo o autor esse efeito ocorre porque o Ca atua na formação de complexos com a argila e com a matéria orgânica, através da formação de pontes catiônicas e contribuindo para a melhoria da agregação na camada superficial.

Os teores médios do alumínio e do manganês foram 4,2 e 1,2 vezes maior na camada de 0,10-0,20 m do que na camada mais superficial (Tabela 2). Estes resultados estão associados à aplicação superficial de calcário. Para o enxofre, constatou-se um aumento de 1,4 vezes no teor médio da camada de 0,10-0,20 m em relação à camada de 0-0,10 m de profundidade. Mesmo havendo decréscimo do teor de MO, com o aumento da profundidade, o valor médio de enxofre, da camada de 0-0,10 m para a camada de 0,10-0,20 m, aumentou aproximadamente 27,36%, confirmando a elevada mobilidade do enxofre no perfil do solo (YAMADA et al., 2007).

TABELA 1. Análise de variância dos atributos da fertilidade do solo em razão da profundidade e da altitude do relevo em um Latossolo Vermelho distrófico com 18 anos de integração Lavoura Pecuária.

Causas da variação	Atributos da fertilidade do solo															
	Al	Argila	B	Ca	Cu	CTC	S	P	Mg	Mn	MO	pH H ₂ O	K	V%	pH SMP	Zn
Altitude	n.s	*	n.s	n.s	*	n.s	n.s	*	n.s	*	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	*
CV %	146,04	11,93	109,98	20,05	30,92	10,71	54,73	65,47	22,42	53,60	24,54	4,63	66,31	20,78	3,71	74,97
Profundidade	*	n.s	n.s	*	*	n.s	*	*	*	n.s	*	*	*	*	n.s	*
Altitude x Profundidade	*	*	n.s	*	*	n.s	*	*	*	*	*	*	*	*	n.s	*
CV %	136,92	12,20	110,73	18,08	31,10	10,43	52,48	51,69	19,87	54,49	10,51	4,45	32,94	18,92	3,72	52,30

ns: não significativo, *: significativo a 5 %

O teor médio de boro foi 29,2% maior na camada de 0,10-0,20 m em relação à 0-0,10 m de profundidade (Tabela 2). Semelhante SILVEIRA & CUNHA (2002) observaram um aumento de aproximadamente 20% no teor de boro na camada de 0-0,05 m em relação a de 0,05-0,20 m. Segundo DANTAS (1991) o SPD e a rotação de culturas, em detrimento do maior controle sobre a mineralização da MOS e a ciclagem de nutrientes das camadas subsuperficiais do solo para as camadas superficiais, podem regular os teores de boro disponíveis, uma vez que a MOS participa ativamente na disponibilidade e retenção de elementos químicos como o boro, cobre e zinco. Além disso, em solos com pH abaixo de 7 como no presente estudo, o boro apresenta-se principalmente na forma de B(OH)₃, aumentando o potencial de perda do nutriente pela lixiviação (FLOSS, 2006), para camadas mais profundas do solo.

O coeficiente de variação dos elementos químicos nas profundidades de 0-0,10 m e de 0,10-0,20 m indicaram a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo. O coeficiente de variação dos atributos boro, cálcio, cobre, CTC, enxofre, fósforo, magnésio, manganês, MO, pH (H₂O), potássio, saturação por base e pH SMP foi superior na camada subsuperficial (0,10-0,20 m) em comparação a camada superficial (Tabela 2), evidenciando o aumento da variabilidade espacial dos atributos com o aumento da profundidade de amostragem. Já para os atributos alumínio, argila, zinco e saturação por alumínio, observou-se uma tendência inversa, ou seja, redução da variabilidade espacial com o aumento da profundidade de amostragem. Observações similares as obtidas tem sido relatadas para os elementos cobre, manganês (SILVEIRA & CUNHA, 2002), cálcio, magnésio, fósforo, potássio e saturação por bases (SILVEIRA et al. 2000).

TABELA 2. Valores mínimos, médios, máximos e coeficientes de variação dos atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distrófico típico em duas profundidades de amostragem (0-0,10 e 0,10-0,20 m), Chapada – RS.

Atributos da fertilidade do solo	0 – 0,10 m			0,10 – 0,20 m			Coeficiente de variação (%)	
	Min.	Méd.	Máx.	Min.	Méd.	Máx.	0-0,10 m	0,10-0,20 m
Al (cmol _c /dm ³)	0,00	0,10	0,77	0,00	0,42	2,02	119,18	78,75
Arg (%)	42,94	64,01	79,12	40,71	64,62	75,21	12,19	8,81
B (mg/dm ³)	0,2	0,34	0,5	0,12	0,48	3,15	16,27	117,12
Ca (cmol _c /dm ³)	2,72	3,69	4,27	1,47	3,12	4,42	8,23	17,67
Cu (mg/dm ³)	4,34	8,28	13,13	3,69	7,64	14,26	20,74	28,56
CTC (cmol _c /dm ³)	9,92	11,66	14,55	9,18	10,90	13,87	6,99	8,56
S (mg/dm ³)	3,41	8,23	15,17	3,05	11,33	26,24	27,03	40,85
P (mg/dm ³)	3,92	8,58	19,33	0,91	4,05	15,09	35,66	59,17
Mg (cmol _c /dm ³)	1,32	2,06	2,60	0,75	1,64	2,40	11,58	15,38
Mn (mg/dm ³)	11,80	28,95	72,89	5,37	34,74	109,70	42,87	51,09
M. O. (%)	3,51	4,15	5,00	2,11	2,68	3,28	6,54	8,95
pH (H ₂ O)	5,00	5,45	5,79	4,71	5,32	5,90	2,69	3,85
K (mg/dm ³)	170,79	238,19	390,00	26,30	66,92	156,26	16,27	42,85
m (%)	0,00	1,66	11,27	0,00	8,42	44,30	115,95	80,66
V (%)	40,50	54,56	63,52	19,54	45,60	67,31	9,28	17,57
pH SMP	5,40	5,84	6,10	5,20	5,75	6,20	2,30	3,18
Zn (mg/dm ³)	2,00	3,65	9,46	0,51	1,15	2,92	40,85	29,19

A maioria dos atributos químicos apresentou variabilidade classificada como média e baixa. Somente o alumínio, zinco, enxofre e saturação por alumínio apresentaram elevada variabilidade, em ambas as profundidades. A baixa variabilidade espacial do pH (H₂O), cálcio e magnésio está associado a aplicação de calcário a lanço. A variabilidade espacial média do fósforo corrobora com dados de AMADO et al. (2009), que investigando duas áreas agrícolas do planalto (RS) também encontraram variabilidade média, sugerindo que a aplicação a taxa uniforme não está sendo eficiente para uniformizar a área.

Embora 68% dos pontos amostrais apresentaram teor de fósforo classificado nas classes alto e muito alto (superior ao teor crítico) na profundidade de 0-0,10 m, já na camada de 0,10-0,20 m 66,6% dos pontos foram muito baixo e baixo (Figura 2). Assim, na camada de 0-0,10 m a maioria dos pontos amostrais estariam acima do teor crítico, conforme COMISSÃO (2004), enquanto que na camada de 0,10-0,20 m a maior parte estaria abaixo deste teor. Com isto, dependendo da camada considerada pode-se chegar a conclusões distintas quanto a necessidade de fertilização fosfatada. Segundo MUZILLI (2002) no SPD, após vários anos de adoção a disponibilidade de fósforo solúvel tende a ser mais alta nas camadas superficiais do solo, em virtude da baixa mobilidade do nutriente e do não revolvimento do solo pelas operações de preparo.

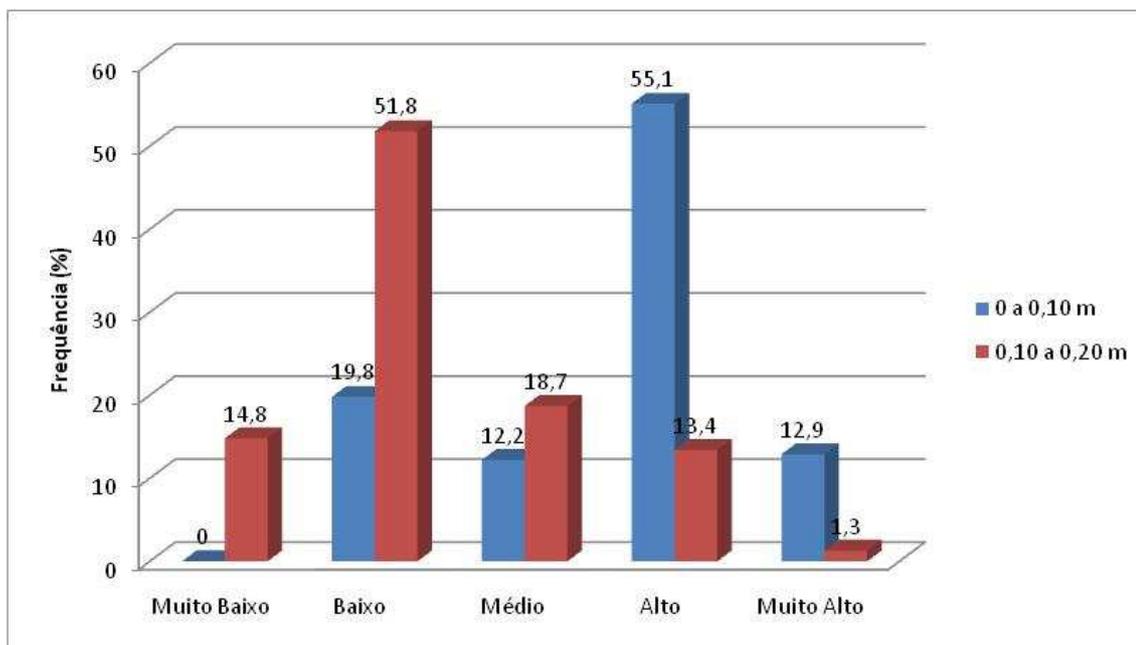


FIGURA 2. Gráfico da distribuição da frequência (%) dos teores absolutos de Fósforo, de acordo com as classes de argila, nas profundidades de amostragem de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, em cada uma das classes de interpretação conforme COMISSÃO (2004).

Para o potássio (Figura 3) a situação é semelhante, na camada mais superficial todos os pontos estariam na classe muito alto, já na camada subsuperficial 53,3% dos pontos apresentaram teores nas classes baixo e médio. Conforme GIACOMINI et al. (2003) o potássio, que se encontra em componentes não estruturais e na forma iônica no vacúolo das células das planta, é rapidamente liberado logo após o manejo das plantas de cobertura ou ao final do ciclo das culturas comerciais. Neste caso, o aporte superficial de resíduos contribui para a concentração superficial deste elemento. Além disto, o incremento da MO é acompanhada pelo aumento da CTC (Figura 5) do solo (BAYER et al., 2003; SÁ et al., 2009) que contribui para a retenção de potássio.

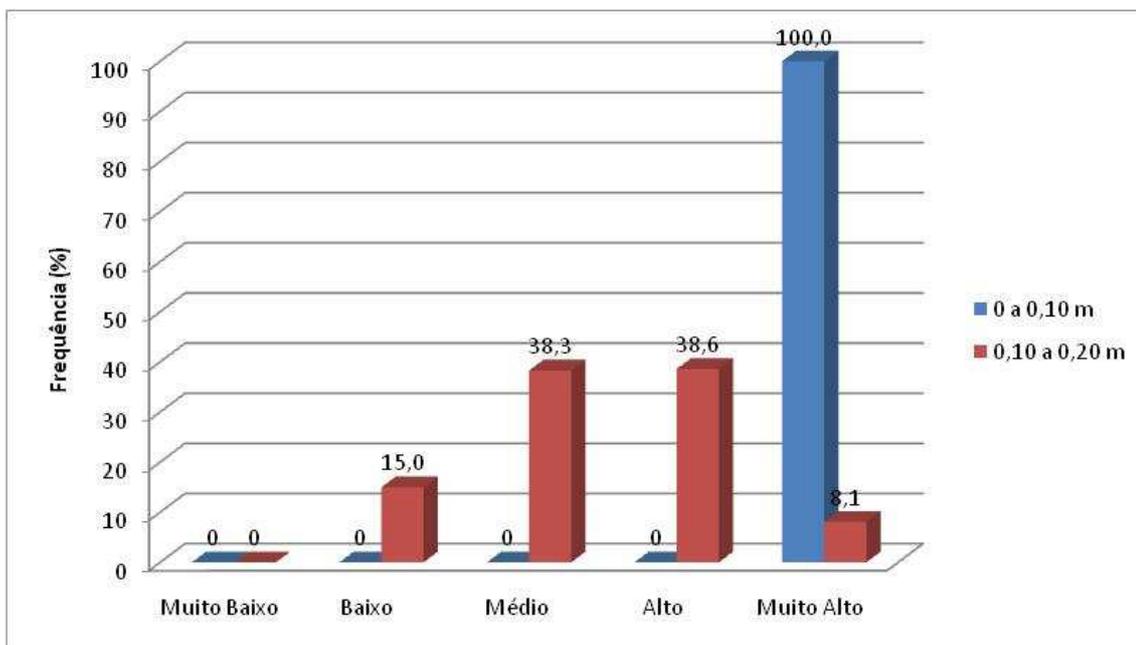


FIGURA 3. Gráfico da distribuição da frequência (%) dos teores absolutos de Potássio, conforme as classes de CTC do solo a pH 7,0, nas profundidades de amostragem de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, em cada uma das classes de interpretação conforme Comissão (2004).

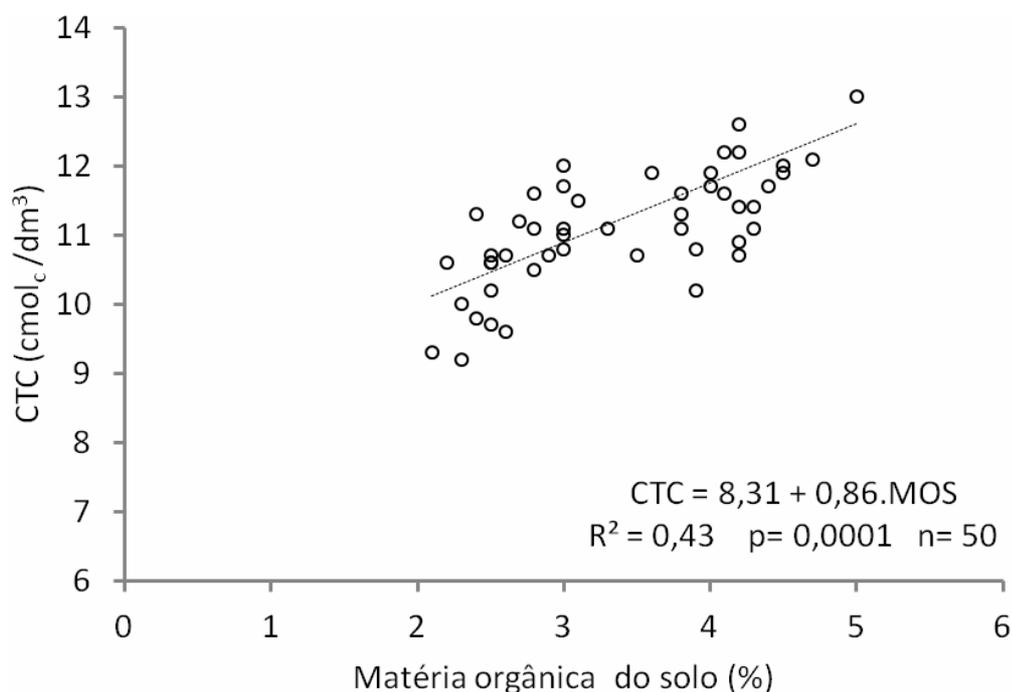


FIGURA 4. Regressão entre o conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) e a capacidade de troca de cátions (CTC).

Atributos da fertilidade do solo afetados pelo relevo

O relevo de uma determinada área, manifestado através das diversas pedoformas, concorre para a variabilidade dos atributos da fertilidade do solo.

Os atributos alumínio, boro, cálcio, cobre, CTC, enxofre, magnésio, MO, pH H₂O, saturação por bases, potássio e pH SMP não foram influenciados pela altitude, ao passo que na camada 0-0,10 m os atributos argila e fósforo acompanharam diretamente ao aumento da altitude, com incrementos de 20,4 e 46,8% respectivamente, ou seja, maiores teores na maior altitude (Tabela 3). Contrariamente, na camada 0,10-0,20 m os atributos cobre e manganês apresentaram um comportamento inverso, ou seja, quanto maior a altitude menores os teores, com decréscimos de 35,7 e 53,4% respectivamente (Tabela 3). Já na camada de 0-0,10 m esse efeito foi observado para o Zinco com decréscimo de 44,0%. Anteriormente, a relação direta da altimetria com o teor de fósforo, e inversa com a matéria orgânica havia sido reportada na literatura (FERREIRA 2009; FALCÃO & ESCOSTEGUY, 2010). FERREIRA (2009) investigando as formas do relevo em um Latossolo na região dos Campos Gerais observou que na área de platô o teor de MO (3,92 %) foi superior ao encontrado na área de baixada (2,99 %). O autor estimou ainda que 15,7 % de C dos resíduos culturais foi convertido em C orgânico do solo na área de platô, enquanto que na área de baixada foi 13,8 %.

Para o fósforo, com a elevação da altitude do terreno, constatou-se uma mudança na classe de interpretação de médio para alto, o que resultaria em uma recomendação de adubação fosfatada distinta para estas posições no relevo.

Essas relações entre os atributos do solo com o relevo do terreno seja resultado de uma complexa inter-relação, envolvendo as características químicas e físicas do solo. Nas áreas de baixada, onde ocorre maior acúmulo de água e sedimentos, para alguns elementos químicos, foram observados os menores teores. Este fato contraria o processo de deposição e sedimentação, porém as maiores produtividades das culturas nas áreas de baixada pode concorrer para o menor teor dos atributos, principalmente para fósforo, potássio, enxofre e saturação por base, em função das maiores exportações de nutrientes via colheita das culturas.

SILVA et al., (2007), investigando um Latossolo, observaram correlação de - 0,70 entre a declividade do terreno e a produção de café, revelando maiores produtividades nas áreas mais baixas do talhão. Segundo os autores, diversos trabalhos têm demonstrado a influência do relevo como um dos parâmetros que definem a distribuição dos atributos do solo ao longo da paisagem e que apresenta elevadas correlações com a produtividade das culturas.

Os resultados apresentados na Tabela 2 apresentaram relação inversa entre os teores de manganês disponível e o pH do solo, bem como, zinco disponível e o pH do solo (Tabela 3). Os teores de zinco apresentaram uma relação positiva com o teor de MO (Tabela 3). Resultados semelhantes foram reportados por CASTRO et al. (1992), em Latossolos, e por EDWARDS et al. (1992) e MOTTA et al. (2002), em solos americanos. Já os teores de manganês não tiveram correlação com a MO. ALLEONI et al. (2005) atribuíram esse comportamento as baixas variações nos teores de MO, a ponto de não interferir na disponibilidade do Mn.

TABELA 3. Valores médios dos atributos da fertilidade do solo, em função da altitude do relevo em duas profundidades de amostragem.

Atributos da fertilidade do solo	Prof. (m)	Baixada (510 m)	Encosta (520 m)	Encosta Superior (530 m)
Alumínio (cmol _e /dm ³)	0-0,10	0,11 Aa ¹	0,12 Aa	0,13 Aa
	0,10-0,20	0,31 Aa	0,56 Ba	0,43 Aa
Argila (%)	0-0,10	55,83 Aa	64,00 Aab	70,11 Ab
	0,10-0,20	59,33 Aa	64,80 Aa	68,11 Aa
Boro (mg/dm ³)	0-0,10	0,38 Aa	0,32 Aa	0,34 Aa
	0,10-0,20	0,25 Aa	0,59 Aa	0,33 Aa
Cálcio (cmol _e /dm ³)	0-0,10	3,7 Aa	3,66 Aa	3,65 Aa
	0,10-0,20	3,26 Aa	2,81 Ba	3,20 Aa
Cobre (mg/dm ³)	0-0,10	9,35 Aa	7,41 Aa	7,98 Aa
	0,10-0,20	9,81 Aa	7,99 Aab	6,31 Ab
CTC (cmol _e /dm ³)	0-0,10	12,05 Aa	11,68 Aa	11,66 Aa
	0,10-0,20	11,31 Aa	10,94 Aa	10,77 Aa
Enxofre (mg/dm ³)	0-0,10	8,48 Aa	7,22 Aa	9,56 Aa
	0,10-0,20	9,18 Aa	13,20 Ba	11,33 Aa
Fósforo (mg/dm ³)	0-0,10	6,06 Aa	7,76 Aab	11,30 Ab
	0,10-0,20	2,31 Ba	3,82 Ba	4,61 Ba
Magnésio (cmol _e /dm ³)	0-0,10	2,05 Aa	2,05 Aa	2,01 Aa
	0,10-0,20	1,75 Aa	1,57 Ba	1,62 Ba
Manganês (mg/dm ³)	0-0,10	44,33 Aa	28,70 Aa	22,77 Aa
	0,10-0,20	54,83 Aa	33,40 Aab	25,55 Ab
Matéria Orgânica (%)	0-0,10	4,21 Aa	4,21 Aa	4,03 Aa
	0,10-0,20	2,71 Ba	2,69 Ba	2,62 Ba
pH H ₂ O	0-0,10	5,35 Aa	5,49 Aa	5,43 Aa
	0,10-0,20	5,33 Aa	5,22 Ba	5,36 Aa
Potássio (mg/dm ³)	0-0,10	232,66 Aa	234,30 Aa	264 Aa
	0,10-0,20	67,83 Ba	66,20 Ba	71,55 Ba
Saturação por base (%)	0-0,10	52,45 Aa	54,09 Aa	54,61 Aa
	0,10-0,20	46,06 Aa	42,07 Ba	46,98 Aa
pH SMP	0-0,10	5,76 Aa	5,84 Aa	5,84 Aa
	0,10-0,20	5,73 Aa	5,69 Aa	5,78 Aa
Zinco (mg/dm ³)	0-0,10	5,45 Aa	3,07 Ab	3,05 Ab
	0,10-0,20	1,63 Aa	1,02 Aa	1,03 Ba

¹Médias seguidas por letras iguais, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os teores de Zn decresceram em profundidade na Encosta (520 m) e na Encosta Superior (530 m), sendo os menores teores verificados na camada de 0,10-0,20 m. Dados estes corroborados por CASTRO et al. (1992); TEIXEIRA et al. (2003) e ZANÃO JUNIOR et al. (2007). No entanto, esses autores encontraram

estratificação no perfil dos teores de Cu, no SPD, resultado que não foi verificado neste trabalho. Segundo HOROWITZ & DANTAS (1976), ao longo do perfil, a adsorção do Zn é função do teor e qualidade da argila. Os autores também citam que o Zn permanece vários anos na superfície e que o movimento lateral é bastante reduzido. Os maiores teores de Zn nos primeiros 0-0,10 m de solo podem ser explicados pela maior quantidade de MO na referida camada, uma vez que ela é uma das principais fontes deste nutriente no solo. Essa interação entre a MOS e o Zn pode ser observado na Figura 6.

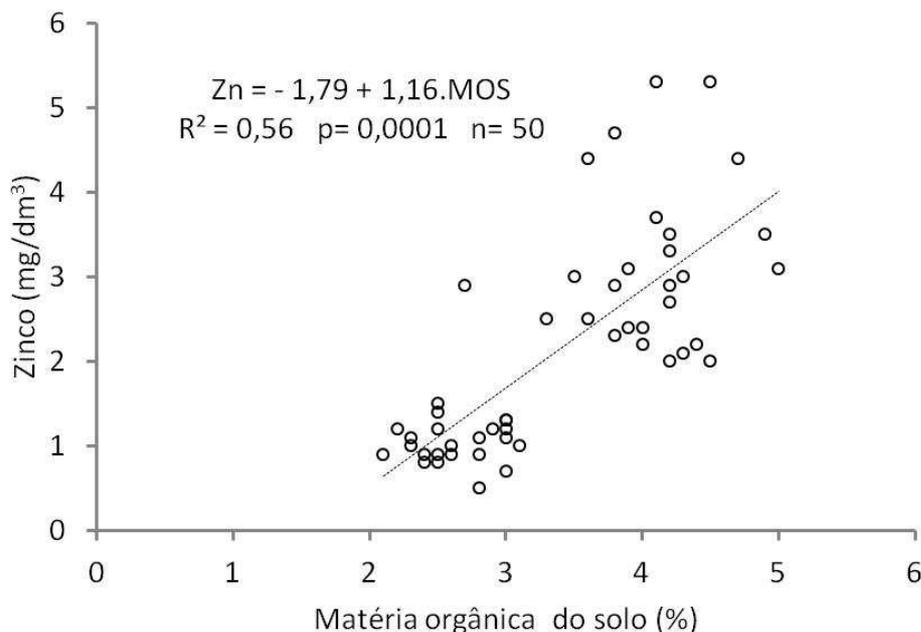


FIGURA 5. Regressão entre o conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) e Zinco (Zn).

Constatou-se influência da altitude do relevo na variabilidade dos atributos da fertilidade do solo, manifestada através do coeficiente de variação dos atributos nas profundidades de amostragem de 0-0,10 m e de 0,10-0,20 m em diferentes altitudes, conforme a Tabela 3. A profundidade de 0-0,10 m, o coeficiente de variação não foi significativamente influenciado pela altitude para os atributos boro, CTC, fósforo, manganês, pH H₂O, potássio, saturação por base e pH SMP. Entretanto para os atributos alumínio, cobre, enxofre, magnésio e saturação por alumínio, houve um aumento do coeficiente de variação com o aumento da altitude do terreno. Já para os atributos argila, cálcio, matéria orgânica e zinco observaram-se efeito inverso, com redução do coeficiente de variação com o aumento da altitude do terreno.

Na profundidade de 0,10-0,20 m observou-se uma tendência similar a encontrada na profundidade de 0-0,10 m, com exceção dos atributos cálcio e MO que aumentaram o coeficiente de variação com o aumento da altitude do terreno. Observou-se influência da altitude do relevo para o atributo boro, na camada de amostragem de 0,10-0,20 m, evidenciando uma diminuição da variabilidade espacial com o aumento da altitude do relevo (Tabela 3).

SOUZA (2010) observou aumento do coeficiente de variação da pedoforma linear para a pedoforma côncava-convexa de 40% e 60% respectivamente para os atributos saturação por base e fósforo, demonstrando a influência do perfil topográfico do relevo na variabilidade dos atributos da fertilidade do solo.

CONCLUSÕES

Observou-se incremento na concentração superficial (0,0-0,10 m) dos atributos químicos: potássio, fósforo, MOS, magnésio, zinco e saturação por bases. Por outro lado, observou-se tendência inversa para os seguintes atributos: alumínio, manganês, enxofre e boro, com incremento na camada 0,10-0,20 m.

Na camada de solo subsuperficial (0,10-0,20 m) observou-se em geral maior variabilidade espacial dos atributos químicos em relação à camada superficial (0,0-0,10 m), com exceção dos atributos: alumínio, argila, saturação por alumínio e zinco.

A variabilidade espacial dos teores de alumínio, cobre, enxofre, magnésio foram incrementadas pelo aumento da altitude e tendência inversa para os atributos argila, MO e zinco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v 33, n. 04, p. 831-843, 2009.

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I. Alterações de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.4, p.695-702, 2001.

ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A.; CAIRES, E.F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n. 06, p.923-934, 2005.

ANGHINONI, I.; SALET, R.L. **Amostragem do solo e as recomendações de adubação e calagem no sistema plantio direto**. In: NUERNBERG, N.J., ed. Conceitos e fundamentos do sistema de plantio direto. Lages, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.27-52, 1998.

BAYER, C.; SPAGNOLLO, E.; WILDNER, L.P.; ERNANI, P.R.; ALBURQUEQUE, J.A. Incremento de carbono e nitrogênio num Latossolo pelo uso de plantas estivais para cobertura do solo. **Ciência Rural**, v. 33, n. 03, p. 469-475, 2003.

BRIEDIS, C. **Compartimentos da matéria orgânica do solo, agregação, mecanismos de proteção e seqüestro de carbono influenciados pela calagem superficial em sistema plantio direto**. 2010. 86f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Paraná.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, 124:3-22,2005.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, 2002.

CASTRO, O.M.; CAMARGO, O.A.; CANTARELLA, H.; VIEIRA, S.R. & DECHEN, S.C.F. Teores de zinco, cobre, manganês e ferro em dois Latossolos sob plantio direto e convencional. **Bragantia**, v. 51, n. 01, p. 77-84, 1992.

COAGRIL – **COOPERATIVA DOS AGRICULTORES DE CHAPADA LTDA.**
Disponível em: <http://www.coagrill-rs.com.br/> Acessado em: 20 de jan. 2010.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. 10. Ed. Porto Alegre, 2004. 400 p.

COUTO, E. G.; STEIN, A.; KLAMT, E. Large area spatial variability of soil chemical properties, in central Brazil. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.66, n. 02, p.139-152, 1997.

DANTAS, J. P. Boro. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da. (Ed.). **Micronutrientes na agricultura.** Piracicaba: Potafos, 1991. p. 113-130.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA – **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2ed. Rio de Janeiro. Embrapa, 2006. 306p.

EDWARDS, J.H.; WOOD, C.W.; THURLOW, D.L. & RUF, M.E. Tillage and crop rotation on fertility status of a Hapludult soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 01, p. 1577-1582, 1992.

ELTZ, F.L.P.; PEIXOTO, R.T.G.; JASTER, F. Efeito de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Brunoálico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.259-267, 1989.

FALCÃO, F. V.; ESCOSTEGUY, P. A. V. **Variação de matéria orgânica, fósforo, potássio e enxofre, em função da profundidade de amostragem e do relevo, de um Latossolo com sistema plantio direto consolidado.** Disponível em: <http://www.sementesfalcao.agr.br/xdown/ARQPDF0004.pdf> Acessado em: 23 de janeiro de 2010.

FERREIRA, A.O. **Compartimentos da matéria orgânica como indicadores do seqüestro de carbono em sistema plantio direto de longa duração.** 2009. 98f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Paraná.

FERREIRA, D. F. Sisvar versão 5.3 (Biud 75). **Sistemas de análises de variância para dados balanceados: programa de análises estatísticas e planejamento de experimentos.** Lavras, MG, Universidade Federal de Lavras, 2010.

FIORIN, J. E.; AMADO, T. J .C. **Agricultura de Precisão Recomendação de Adubação.** Disponível em: <http://www.fundacep.com.br/sistemas/sexsoes/arquivos/arquivos/1216897871.pdf> Acessado em: 23 de jan. 2010.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo do que está por trás do que se vê**. 3 ed. Ampl. e atual. Passo Fundo. Ed. Universidade de Passo Fundo, 2006. 751 p.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; HÜBNER, A.P.; LUNKES, A.; GUIDINI, E.; AMARAL, E.B. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n. 09, p.1097-1104, 2003.

HOROWITZ, A.; DANTAS, H.S. Geoquímica dos elementos menores nos solos de Pernambuco. IV. Zinco na zona Litoral-Mata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.11, n.12, p.27-35, 1976.

KLEPER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.19, p.395-401, 1995.

MACHADO, L.O.; LANA, A.M.Q.; LANA, R.M.Q.; GUIMARÃES, E.C. & FERREIRA, C.V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n. 03, p.591-599, 2007.

MOTTA, A.C.; REEVES, D.W.; TOUCHTON, J.T. Tillage intensity effects on chemical indicators of soil quality in two coastal plain soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.33, n. 05, p.913-932, 2002.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão, Parte II: Diagnóstico, Aplicação Localizada e Considerações Econômicas. **Engenharia Agrícola**, v.17, n.2, p. 108-121, 1997.

MOLIN, J.P.; FRASSON, F.R.; AMARAL, L.R.; POVH, F.P. SALVI, J.V. Capacidade de um sensor ótico em quantificar a resposta da cana-de-açúcar a doses de nitrogênio. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, vol.14, n.12, pp. 1345-1349, 2010.

MUZILLI, O. Manejo da matéria orgânica no sistema plantio direto: a experiência no Estado do Paraná. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 100, p. 6-10, dez. 2002.

PONTELLI, C.B. **Caracterização da variabilidade espacial das características químicas do solo e da produtividade das culturas utilizando as ferramentas de agricultura de precisão**. 2006. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul.

NOGARA NETO, F.; ROLOFF, G.; DIECKOW, J.; MOTTA, A.C.V. Atributos de solo e cultura espacialmente distribuídos relacionados ao rendimento do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.35, n.3, pp. 1025-1036, 2011.

SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; LAL, R.; DICK, W.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.E. Soil organic carbon and fertility interactions affected by a tillage chornosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v.104, p. 56-64, 2009.

SANCHEZ, R.B.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; PEREIRA, G.T. & MARTINS FILHO, M.V. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. **Bragantia**, v. 68, n. 04, p.1095-1103, 2009.

SALL, J.; CREIGHTON, L.; LEHMAN, A. **JMP start statistics: A guide to statistics and data analysis using JMP and JMPIN software**. 3.ed. Cary, Duxbury Press, 2005. 580p.

SCHLINDWEIN, J.A., ANGHINONI, I. Variabilidade Vertical de Fósforo e Potássio Disponíveis e Profundidade de Amostragem do Solo no Sistema Plantio Direto. **Ciência Rural**, v.30, n. 04, p.611-617, 2000.

SILVA, F.M.; SOUZA, Z.M.; FIGUEIREDO, C.A.P.; MARQUES, J.J. & MACHADO, R.V. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, v.37, n. 02, p.401-407, 2007.

SILVEIRA, P. M.; CUNHA, A. A. Variabilidade de micronutrientes, matéria orgânica e argila de um Latossolo submetido a sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1325-1332, 2002.

SILVEIRA, P. M. da; ZIMMERMANN, J. P.; SILVA, S. C.; CUNHA, A. A. Amostragem e Variabilidade Espacial de Características Químicas de um Latossolo Submetido a Diferentes Sistemas de Preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.10, p.2057-2064, 2000.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S. & DENEFF, K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, v. 79, p.7-31, 2004.

SOUZA, C.K; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M.V.; PEREIRA, G.T. Influência do relevo na variação anisotrópica dos atributos químicos e granulométricos de um Latossolo em Jaboticabal-SP. **Engenharia Agrícola**, v.23, n. 03, p.486-495, 2003.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas de relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n. 06, p. 937-944, 2004.

SOUSA, Z. M. **Influência do Relevo na Variabilidade Espacial dos Atributos do Solo e de Plantas**. Disponível em: http://www.agriculturadeprecisao.org.br/conbap/Arquivos_PDF/Paineis/Painel2/ZIGOMAR_UNICAMP.pdf Acessado em: 30 de jan. 2010.

TEIXEIRA, I.R.; SOUZA, C.M.; BORÉM, A.; SILVA, G.F. Variação dos valores de pH e dos teores de carbono orgânico, cobre, manganês, zinco e ferro em profundidade em Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes sistemas de preparo de solo. **Bragantia**, v.62, n. 01, p.119-126, 2003.

WARRICK, A.W.; NIELSEN D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. **Applications of soil physics**. New York, Academic Press. p.319-344, 1980.

WERNER, V. **Utilização de recursos de agricultura de precisão na geração de mapas de atributos, mapas de produtividade e aplicação de insumos a taxas variáveis**. 2004.125f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul.

ZANAO JUNIOR, L.A.; LANA, R.M.Q.; GUIMARAES, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem num Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, v.37, n. 04, p.1000-1007, 2007.

YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C.; **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**; Simpósio sobre nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira, 722 p.: il. Piracicaba, SP, 2007.